УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять та лабораторних робіт з дисципліни

«ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ»

Харків – 2020

Методичні вказівки розглянуто та затверджено на засіданні кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд 24 квітня 2020 р., протокол № 9.

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальностей 192 «Будівництво та цивільна інженерія» та 273 «Залізничний транспорт» усіх форм навчання, а також інших спеціальностей відповідних напрямків.

Укладачі:

професори А. А. Плугін,
Л. В. Трикоз,
доцент О. С. Борзяк

Рецензент

доц. В. Г. Вітольберг

ВСТУП

Метою цих методичних вказівок є забезпечення студентів допоміжним матеріалом для виконання практичних та/або лабораторних робіт з курсу «Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалов і конструкцій». Для підвищення самостійності при підготовці і проведенні робіт вказівки містять контрольні питання для самопідготовки.

До початку виконання робіт студенти самостійно повинні вивчити загальні відомості за цими вказівками, лекційним матеріалом і літературою, що рекомендується, а також зміст і порядок виконання роботи. У переліку літератури, що використовувалася, містяться також першоджерела, які студенти можуть використати для самостійного отримання поглиблених знань і для роботи в СНТ.

Результати виконання лабораторних робіт студенти фіксують у зошитах для лабораторних робіт у формі звіту. У кінці кожного звіту вони наводять висновки, обґрунтовують ступінь виконання поставлених завдань і досягнення мети роботи.

Студенти складають і захищають кожний звіт індивідуально. Рекомендується здавати окремі роботи по мірі їх завершення.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1
Седиментаційний аналіз суспензій

Мета: побудувати криву розподілу частинок дисперсної системи за розмірами.

Завдання: вивчити методи дисперсійного аналізу; освоїти методику роботи з мікроскопом; побудувати гістограму розподілу за розмірами частинок цементу.

1.1 Загальні відомості

Незалежно від умов утворення або способів отримання дисперсійних систем їх частинки, як правило, мають різні розміри. Визначення розмірів частинок та отримання даних про розподіл частинок полідисперсної системи за визначеними розмірами і є

завданням дисперсійного аналізу. Дисперсійний аналіз здійснюється різними методами. Для аналізу грубодисперсних систем застосовують, наприклад, набір сит з різними розмірами отворів. Для дрібнодисперсних систем застосовують мікроскопічний метод, а також методи седиментаційного аналізу [1], основані на визначенні швидкості осідання частинок під дією сили тяжіння або відцентрової сили. При осіданні полідисперсних систем частинки великого розміру будуть мати більшу швидкість порівняно з частинками меншого розміру. Отже, знаючи швидкість седиментації *v* (швидкість осідання) частинок, можна обчислити їх розмір за формулою

$$\mathrm{R} = \mathrm{C} \cdot \sqrt{\mathrm{V}}, \tag{1.1}$$

де С – постійна Стокса, яка розраховується за формулою

$$C = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta}{2 \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot g}}, \tag{1.2}$$

де η – в'язкість середовища, у якому проводиться седиментація, Па·с;

ρ_1 – щільність матеріалу, кг/м^3;

ρ_2 – щільність середовища, у якому проводиться седиментація, кг/м^3;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2.

Швидкість осідання *v* визначається експериментально, як відношення шляху *H*, що був пройдений частинкою, до часу *t*, за який цей шлях був пройдений:

$$\mathrm{v} = \frac{\mathrm{H}}{\mathrm{t}}. \tag{1.3}$$

Результати седиментаційного аналізу зображують графічно у вигляді седиментаційної кривої (рисунок 1.1), гістограми та диференційної кривої (рисунок 1.2).

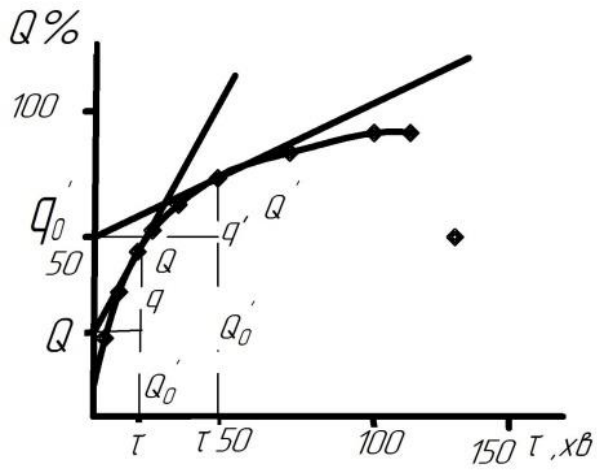


Рисунок 1.1 – Седиментаційна крива

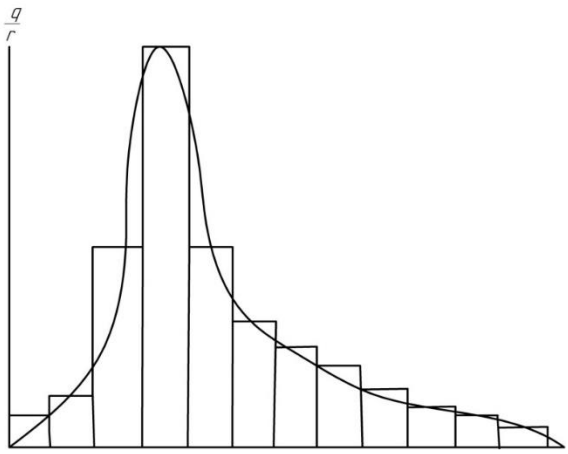


Рисунок 1.2 – Гістограма та диференційна крива розподілу частинок за розмірами

1.2 Прилади та реактиви

Торсійні ваги; мірні циліндри; порошки для приготування суспензій; дистильована вода; скляна паличка з гумовим диском; чашечка з некородуючого матеріалу.

1.3 Виконання роботи

Седиментаційний аналіз проводиться за допомогою торсійних ваг (рисунок 1.3).

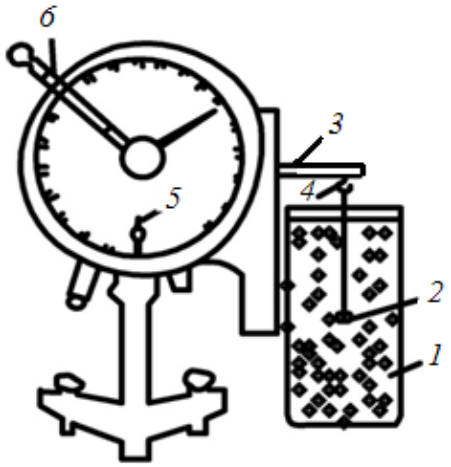


Рисунок 1.3 – Схема установки для проведення седиментаційного аналізу суспензії

Наважку 0,5 г порошку розміщують у мірному циліндрі *1* (рисунок 1.3) ємністю 250 мл, який наповнюють до мітки вибраною рідиною. За допомогою скляної палички з гумовим диском перемішують суспензію до досягнення рівномірного розподілення частинок суспензії по всьому об'єму (3-5 хв). Після закінчення перемішування суспензії ставлять циліндр до ваг та швидко занурюють у нього чашечку *2*, підвішуючи її на гачок *4* коромисла *3* приладу. Одночасно із занурюванням чашечки вмикають секундомір. По мірі накопичення осаду на чашечці покажчик рівноваги ваг *5* зміщується вліво, під час відліку його повертають знов у рівноважне положення важелем *6*. Відліки роблять через 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 та 128 хв.

За вихідний відлік приймають вагу чашечки у воді. Для цього перед дослідом у склянку до мітки наливають воду та, зануривши чашечку, відмічають показання торсійних ваг, одночасно вимірюючи глибину занурення чашечки, см. Дані досліду записують у таблицю 1.1. Виконують розрахунок у таблиці та за даними розрахунку будують гістограму та диференційну криву розподілу частинок суспензії за розмірами.

Таблиця 1.1 – Розрахунок кривої розподілу частинок за розмірами

Час *t*, хв	Вага чашечки з частинками, мг	Вага частинок *m*			Швидкість седиментації, м/с	Радіус частинок *r*, мкм	Δr	ΔQ	$\frac{\Delta Q}{\Delta R}$
		мг	%	Δ*m*, %					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

1.4 Зміст звіту

1 Тема та мета практичного заняття.
2 Виклад загальних відомостей.
3 Результати вимірювань, криві та гістограми розподілу.
4 Висновки.

Контрольні запитання

1 У чому полягає задача дисперсійного аналізу?

2 Перелічіть основні методи дисперсійного аналізу грубодисперсних систем.

3 Перелічіть основні методи дисперсійного аналізу дрібнодисперсних систем.

4 Як графічно відображають результати дисперсійного аналізу?

5 На чому основані методи седиментаційного аналізу дисперсних систем?

6 Що називають седиментаційною кривою?

7 Від чого залежить швидкість осідання частинок?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2
Вимірювання поверхневого натягу

Мета: визначити концентрацію піноутворювача для виготовлення пінобетону.

Завдання: вивчити методи вимірювання поверхневого натягу (зважування крапель, відрив кільця та ін.); виміряти крайовий кут змочування різних рідин; виміряти поверхневий натяг заданої рідини двома методами.

2.1 Загальні відомості

Для всіх дисперсних та колоїдних систем характерні дві основні ознаки: гетерогенність та дисперсність однієї фази. Гетерогенність у колоїдних системах характеризується наявністю поверхні розділу між частинками дисперсної фази та дисперсійним середовищем. Явища, що відбуваються на поверхні розділу фаз, називаються поверхневими [1]. Ці процеси лежать в основі збагачення руд флотацією, поглинання шкідливих газів та водяних парів, використання мастил та пластифікаторів, виготовлення стійких суспензій, емульсій та ін.

Будь-яка поверхня розділу різко відрізняється за своїми фізико-хімічними властивостям від внутрішньої частини обох фаз, що граничать між собою.

Різниця полягає у стані молекул на поверхні і в об'ємі. На рисунку 2.1 показана границя розділу рідини з власним паром. На молекулу, що міститься всередині рідини, діють сили взаємного притягання з боку всіх сусідніх молекул, що її оточують. Молекула на поверхні зазнає практично притягання тільки з боку молекул рідини, яке нічим не компенсується з боку газоподібної фази. У результаті рівнодіюча притягання цієї молекули спрямована у бік рідини, вниз – молекула прагне втягнутися всередину рідини. У такому положенні перебувають усі молекули, що утворюють поверхневий шар рідини, унаслідок чого виникає внутрішній тиск у рідині, що спрямована до її об'єму.

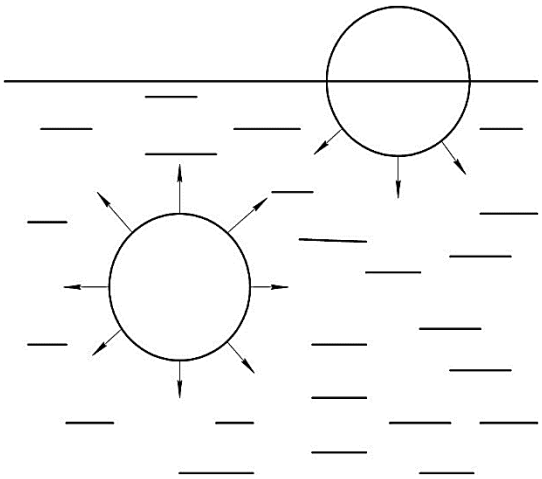


Рисунок 2.1 – Схема міжмолекулярних взаємодій

Наявність на поверхні рідини молекул, що не врівноважені міжмолекулярними силами, утворює в поверхневому шарі вільну поверхневу енергію, яка прагне зменшитися. На поверхні рідини нібито утворюється плівка, що має поверхневий натяг. Щоб збільшити площу поверхні рідини, тобто щоб подолати її поверхневий натяг, необхідно витратити роботу. Робота, Дж, яка необхідна для збільшення площі поверхні рідини на 1 м^2, є мірою енергії та називається коефіцієнтом поверхневого натягу або просто поверхневим натягом.

Речовини, які здатні в результаті адсорбції знижати поверхневий натяг, називаються поверхнево-активними. До таких

речовин відносять піноутворювачі, розчини яких застосовують для виробництва пінобетону. Є деяка мінімальна концентрація піноутворювача, при якій піна буде мати необхідні властивості – стійкість та кратність. Вимірявши поверхневий натяг розчинів з різною концентрацією піноутворювача та побудувавши залежність, можна графічно визначити потрібну концентрацію піноутворювача для виробництва пінобетону.

Для вимірювання поверхневого натягу існує багато методів (найбільшого тиску бульбашки, капілярного підняття, зважування крапель, відриву кільця та ін.). У роботі розглянемо два з них – відрив кільця та зважування крапель.

При піднятті кільця з рідиною, що його змочує, потрібно прикласти певне зусилля для відриву дротяного кільця разом з рідиною від її поверхні. Ця сила чисельно дорівнює поверхневому натягу та залежить від щільності рідини, діаметрів кільця та дроту. Оскільки це виміряти доволі складно, то зазвичай вимірюють відносний поверхневий натяг σ, порівнюючи зусилля відриву кільця від поверхні рідини, що досліджується, P та рідини P_0 з відомим поверхневим натягом σ_0 за формулою

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{P_0}}. \qquad (2.1)$$

В основі методу зважування крапель (метод сталагмометра) лежить положення, що вага краплі, яка відривається під дією сили тяжіння, буде тим більша, чим більший поверхневий натяг рідини на межі з повітрям. Оскільки важко визначити радіус капілярної трубки, то поверхневий натяг σ визначають аналогічно, порівнюючи вагу досліджуваної краплі рідини P та рідини P_0 з відомим поверхневим натягом σ_0 та обчислюють за формулою (2.1).

2.2 Прилади та реактиви

Торсійні ваги на 500,0 мг; столик з кремальєрою; чашки Петрі діаметром 8-10 см; кільце з нікелевого дроту вагою 500 мг; важок з дроту; мірні циліндри; сталагмометр; штатив з лапкою; склянка хімічна ємністю 100 мл (2 шт.); бюкса з пришліфованою кришкою

ємністю 20 мл; пікнометр ємністю 10 мл; гумова груша; стандартні та досліджувані рідини; хромова суміш.

2.3 Виконання роботи

2.3.1 Рідину з відомим поверхневим натягом наливають у чашку Петрі, щоб меніск рідини в чашці не впливав на форму поверхні, що обкреслена кільцем. Чашку розміщують на столику, що закріплений на вертикальній кремальєрі. Столик та торсійні ваги повинні розміщуватися на площадці з вивіреною горизонтальністю.

Попередньо вимите та висушене кільце *2* (рисунок 2.2) підвішують пінцетом до коромисла торсійних ваг *1*.

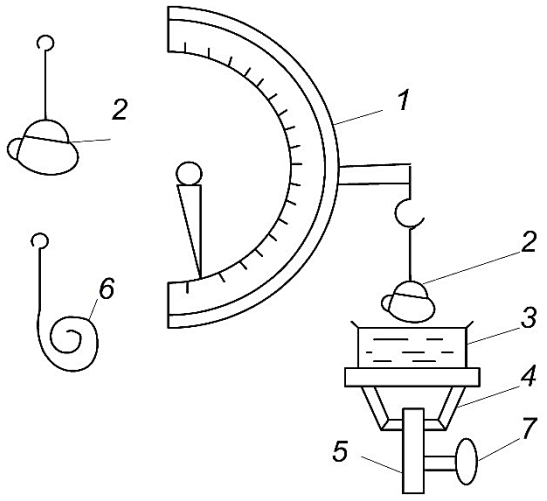


Рисунок 3.2 – Схема приладу для вимірювання поверхневого натягу методом відриву кільця

Навантажують коромисло важком *6* з такою вагою, щоб загальна вага кільця та важка не перевищувала 1 г. Під впливом спільного навантаження коромисло опускається повністю. Наливають у чашку *3* рідину з відомим поверхневим натягом та очікують, доки поверхня рідини не заспокоїться. Необхідно, щоб дріт кільця лежав строго горизонтально щодо поверхні рідини. Обертаючи мікрогвинт *7* кремальєри *5*, піднімають столик *4* з чашкою, доки дротяне кільце не буде дотикатися до поверхні рідини. Після невеличкої зупинки (біля 1 хв) обережно, не доторкаючись пінцетом кільця, знімають важок. Потім повільно та

плавно повертають важіль ваг, одночасно спостерігаючи за положенням стрілки ваг та кільця з дроту.

Важіль обертають до моменту відриву кільця від поверхні рідини. Записують показання стрілки ваг. Вимірювання повторюють кілька разів і для розрахунків беруть середнє арифметичне значення. Необхідно перед кожним новим вимірюванням брати кільце за дужку пінцетом і обтирати його фільтрувальним папером. Потім чашку і кільце промивають і висушують. У чашку наливають досліджувану рідину. Вимірювання проводять аналогічно попереднім. Отримані середні арифметичні значення P і P_0 підставляють у формулу (2.1), обчислюють σ і порівнюють з табличним значенням.

2.3.2 Сталагмометр є скляною трубкою (часто колінчастою) з розширенням у середній частині і капіляром у нижній (рисунок 2.3); на трубці нанесені дві кругові мітки (вище і нижче від розширення).

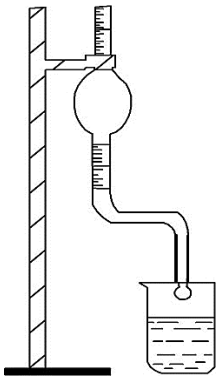


Рисунок 2.3 – Схема приладу для вимірювання поверхневого натягу методом сталагмометра

Перед початком роботи сталагмометр ретельно промивають хромовою сумішшю, вільною від зважених часточок, потім дистильованою водою і сушать у струмені гарячого повітря. Сухий сталагмометр закріплюють у штативі так, щоб нижня площадка розміщувалася у вертикальній площині. Досліджувану і стандартну рідину засмоктують у сталагмометр грушею, прикріплюючи її до верхнього кінця сталагмометра. Рівень рідини установлюють вище верхньої мітки. Рідину, що витікає, збирають у бюксу, відраховуючи краплі.

Цілу кількість крапель стандартної рідини, що відповідає об'єму V, який розташований між мітками, збирають у бюксу, попередньо висушену і зважену разом із кришкою. Закривши бюксу пришліфованою кришкою, зважують її разом з рідиною. Не виливаючи рідини, повторюють дослід кілька разів, збираючи краплі в ту ж бюксу і зважуючи. Визначають середнє значення ваги P_0, діленої на кількість крапель n_0, тобто $p_0 = \frac{P_0}{n_0}$. У такий самий спосіб роблять визначення для досліджуваної рідини та обчислюють σ за формулою (2.1).

За результатами досліду будують залежність поверхневого натягу розчину піноутворювача від його концентрації і визначають графічно мінімально необхідну концентрацію для виробництва пінобетону.

2.4 Зміст звіту

1 Тема і мета заняття.

2 Виклад загальних відомостей.

3 Схема установок, результати вимірювань і розрахунків, графік.

4 Висновки.

Контрольні запитання

1 Що таке поверхневий натяг?

2 Чому крапля рідини прагне мати форму кулі у відсутності зовнішніх сил?

3 Що таке поверхнева енергія?

4 Сутність методу відриву кільця для вимірювання поверхневого натягу.

5 Сутність методу зважування краплі для вимірювання поверхневого натягу.

6 Навіщо в лабораторній роботі потрібно мати стандартну рідину з відомим поверхневим натягом?

7 Що таке змочування?

8 Що таке крайовий кут змочування?

9 Наведіть схеми крайового кута змочування для різних типів рідин (змочувальної і незмочувальної).

10 Як класифікують поверхні за ступенем їхнього змочування (за крайовим кутом змочування)?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3
Вивчення механізму адсорбції на твердих поверхнях

Мета: побудувати ізотерму адсорбції водяної пари глинистим мінералом.

Завдання: розрахувати значення питомої адсорбції при різних значеннях відносної вологості середовища; визначити товщину адсорбційного шару.

3.1 Загальні відомості

Адсорбцією називається концентрування газоподібної чи розчиненої речовини на поверхні розділу фаз – на твердому тілі чи на рідині. Газ чи розчинену речовину називають адсорбтивом або адсорбатом, а речовину, що адсорбувала їх, – адсорбентом. Якщо розчин відомої концентрації привести в контакт з адсорбентом і, почекавши, доки встановиться адсорбційна рівновага, виміряти концентрацію рівноважного розчину, то адсорбованої з розчину речовини буде стільки, скільки становить різниця між концентрацією розчину до адсорбції і після неї. Визначаючи цю різницю для розчинів різної концентрації і знаючи масу адсорбенту, одержують дані про залежність питомої адсорбції від рівноважної концентрації, за якими будують ізотерму адсорбції (рисунок 3.1). Величину питомої адсорбції *Г*, ммоль/г, обчислюють за формулою

$$\Gamma = \frac{(C_0 - C_p)\cdot V}{m}, \qquad (3.1)$$

де C_0 і C_P – концентрація розчину до контакту з адсорбентом і після настання адсорбційної рівноваги, моль/л;

V – об’єм розчину, з якого відбувається адсорбція, мл;

m – наважка адсорбенту, г.

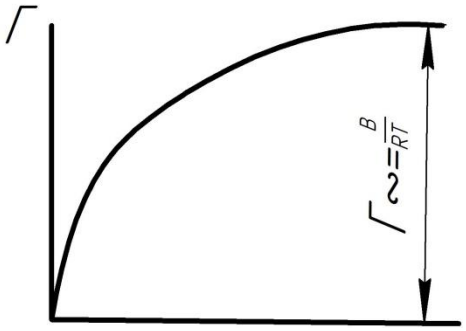


Рисунок 3.1 – Ізотерма адсорбції

Ізотерма адсорбції (рисунок 3.1) має дві прямолінійних ділянки та одну криволінійну. На початку ізотерми прямолінійна похила ділянка кривої показує, що адсорбція при малих концентраціях пропорційна концентрації. Це відповідає значною мірою ще вільній поверхні адсорбенту. Прямолінійна, майже горизонтальна ділянка, що відповідає великим концентраціям, відповідає поверхні адсорбенту, цілком насиченій адсорбтивом. У цих умовах кількість адсорбованої речовини перестає залежати від концентрації. Перехідна криволінійна ділянка відповідає проміжним ступеням заповнення поверхні.

Константа Γ_∞ – це граничне значення адсорбції, що відповідає повному заповненню поверхні молекулами адсорбтиву, коли товщина шару дорівнює одній молекулі (мономолекулярний шар). Знаючи Γ_∞, молекулярну вагу речовини М та її щільність ρ, можна визначити товщину адсорбційного шару δ, що відповідає осьовій довжині орієнтованої молекули:

$$\delta = \frac{\Gamma_\infty \cdot M}{\rho}. \qquad (3.2)$$

Явище адсорбції використовується в промисловості при очищенні рідин і газів, флотації руд, одержанні реагентів-спінювачів, при адсорбційному зниженні міцності твердих тіл, пластифікації бетонної суміші, перезарядженні поверхні заповнювачів і наповнювачів. Цим же явищем обумовлена адсорбція на твердій поверхні водяного пару з повітря, що створює сприятливі умови для розвитку корозійних процесів у будівельних матеріалах.

3.2 Прилади і реактиви

Терези аналітичні; бюкси (6 шт.); глинистий мінерал; ексикатори зі створеною в них різною відносною вологістю.

3.3 Виконання роботи

У роботі необхідно побудувати ізотерму адсорбції водяного пару з повітря на поверхні бентонітової глини залежно від вологості навколишнього середовища (молекулярна адсорбція). Наважку глини (1 г) поміщають у попередньо зважену бюксу. Потім бюкси встановлюють в ексикаторах з визначеною вологістю середовища. Після встановлення адсорбційної рівноваги бюкси зважують і визначають величину питомої адсорбції за формулою

$$\Gamma = \frac{m_3 - m_2}{m_2 - m_1}, \qquad (3.3)$$

де m_1 – маса порожньої бюкси, г;
m_2 – маса бюкси з глиною до адсорбції, г;
m_3 – маса бюкси з глиною після адсорбції, г.

За результатами обчислень будують ізотерму адсорбції – залежність питомої адсорбції водяної пари від відносної вологості середовища. Графічно визначивши Γ_∞, обчислюють за формулою (3.2) товщину адсорбційного шару.

3.4 Зміст звіту

1 Тема і мета практичного заняття.
2 Виклад загальних відомостей.
3 Результати вимірювань і розрахунків, ізотерма адсорбції.
4 Висновки.

Контрольні запитання

1 Що таке адсорбція?
2 Перелічіть види адсорбції.
3 Основні ознаки фізичної адсорбції.

4 Основні ознаки хімічної адсорбції.
5 Що називається молекулярною адсорбцією?
6 Що називається іонною адсорбцією?
7 Що таке питома адсорбція?
8 Що таке ізотерма адсорбції?
9 Від чого залежить інтенсивність процесу адсорбції?
10 Як впливає підвищення температури на швидкість фізичної і хімічної адсорбції?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4
Вимірювання електрокінетичного ζ-потенціалу

Мета: визначити величину і знак ζ-потенціалу поверхні.

Завдання: ознайомитися з методами вимірювання ζ-потенціалу (електроосмос, електрофорез, потенціал протікання); розрахувати ζ-потенціал для різних поверхонь різними методами.

4.1 Загальні відомості

У гетерогенних системах, що мають границю розділу фаз, можуть виникати явища відносного руху фаз уздовж поверхні розділу, які обумовлені зовнішнім електричним полем, або, навпаки, можуть викликати виникнення електричного поля. Ці явища називаються електрокінетичними і вони пов'язані з утворенням подвійного електричного шару. До них належать електрофорез, електроосмос, виникнення потенціалів осідання і протікання.

У цей час подвійний електричний шар (ПЕШ) розглядається як плоский конденсатор, у якому іони, що входять до складу твердої фази, утворюють внутрішню обкладку, а іони протилежного знака (протиіони) утворюють зовнішню обкладку, звернену до рідкої фази. Частина протиіонів безпосередньо торкається іонів твердої фази, утворюючи щільний шар; інша частина протиіонів становить дифузний шар (рисунок 4.1, *а*). Товщина щільного шару має порядок іонного діаметра. Товщина дифузного шару залежить від температури і концентрації. Чим вища концентрація іонів у розчині, тим сильніше зміщається рівновага у бік переходу іонів з об'єму розчину в поверхневий шар,

тобто з дифузного шару в щільний. Отже, з ростом концентрації відбувається стиснення дифузного шару.

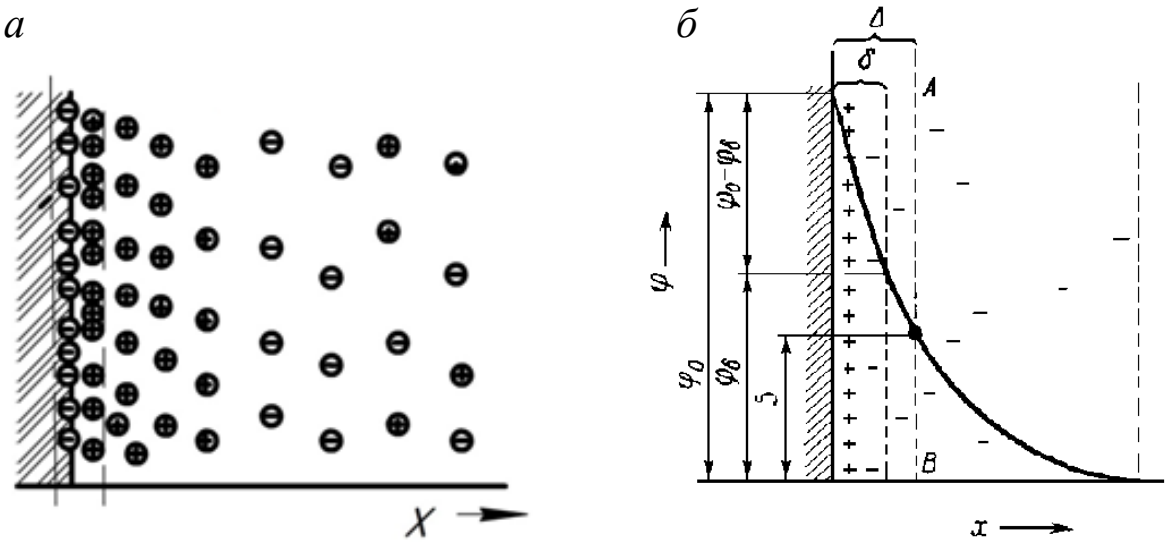


Рисунок 4.1 – Схема подвійного електричного шару

Падіння потенціалу в щільному шарі, за аналогією з плоским конденсатором, приймається лінійним, а градієнт потенціалу – постійним. Хід падіння потенціалу φ з відстанню від твердої фази поданий на рисунку 4.1, *б*. При відносному переміщенні фаз іони дифузної частини подвійного шару беруть участь у русі рідкої фази, у той час як іони щільного шару залишаються разом із твердою фазою. Тому участь іонів дифузного шару у відносному русі рідини характеризується не всім міжфазним потенціалом φ, а лише тією частиною його, що відповідає падінню потенціалу в області дифузного шару. Ця частина падіння потенціалу, точніше різниця потенціалів між границею ковзання рідини і глибиною розчину, тобто областю, де об'ємний заряд дорівнює нулю, називається електрокінетичним чи ζ-потенціалом [1]. Збільшення концентрації іонів у розчині призводить до переходу іонів дифузного шару в щільний, а отже, до зменшення ζ-потенціалу. Отже, величина ζ-потенціалу визначається (при цій температурі) складом фаз – хімічною природою твердої фази, складом розчину і його концентрацією, і не залежить від розмірів капіляра в капілярних системах.

Електрокінетичні явища застосовуються в різних виробничих процесах: при осушенні ґрунтів, деревини, поверхні

водонасиченого бетону (електроосмос), при ущільненні ґрунтів (електрофорез) і т. д.

4.1.1 Визначення ζ-потенціалу методом потенціалу протікання

Потенціалом протікання Е називається різниця потенціалів, що виникає між кінцями капіляра чи системи капілярів при протіканні розчину під дією зовнішнього тиску (рисунок 4.2).

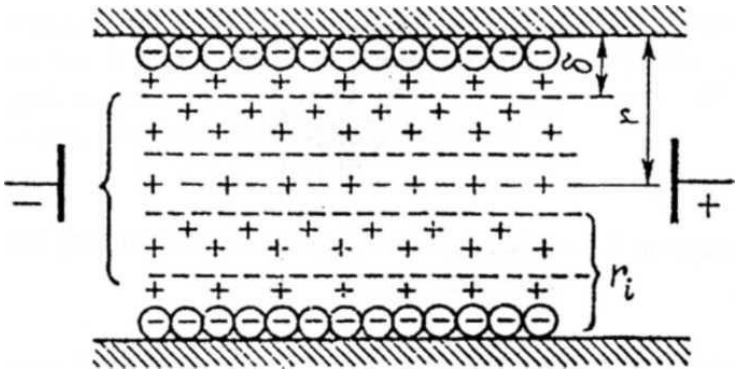


Рисунок 4.2 – Схема будови подвійного електричного шару в капілярі

Потік рідини, протікаючи через систему капілярів, захоплює за собою іони дифузної частини подвійного електричного шару. Цей рух іонів, який є поверхневим струмом, приводить до виникнення різниці потенціалів між об'ємами розчину, розділеними капілярною системою. Величину ζ-потенціалу розраховують за формулою Гельмгольца-Смолуховського

$$\zeta = \frac{\eta \cdot \varkappa \cdot E}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot P}, \qquad (4.1)$$

де η – в'язкість розчину електроліту, Па·с;

$\varkappa$ – питома електропровідність розчину електроліту, См/м;

ε – діелектрична проникність;

ε_0 – електрична постійна, Ф/м;

E – виміряний потенціал протікання, В;

P – тиск, при якому відбувається вимірювання, Па.

4.1.2 Визначення ζ-потенціалу методом електроосмосу

Переміщення рідини відносно нерухомої твердої фази під впливом зовнішнього електричного поля називається електроосмосом. Електроосмос можна спостерігати у U-подібний трубці, що наповнена дисперсійним середовищем; у нижній частині трубки міститься пористий матеріал, наприклад пісок, що є дисперсною фазою (рисунок 4.3). При дії зовнішнього електричного поля рідина перетікає через пористу діафрагму з одного коліна трубки в друге, і рівні рідини зміщаються на деяку висоту h. Під дією зовнішнього електричного поля іони дифузного шару, які неміцно зв'язані з поверхнею, зміщаються в бік протилежно зарядженого електрода. Іони щільного шару, відносно міцно зв'язані з поверхнею, практично залишаються нерухомими. Іони дифузного шару, переміщаючись у капілярі, захоплюють за собою рідину (дисперсійне середовище), яке заповнює капіляр, що і приводить до зсуву рівнів у U-подібний трубці.

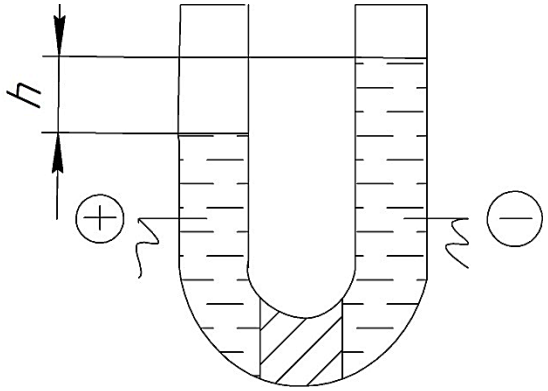


Рисунок 4.3 – Схема до вимірювання ζ-потенціалу методом електроосмосу

За допомогою електроосмосу можна визначити знак заряду поверхні на границі з рідиною, а також, вимірявши швидкість течії рідини, обчислити ζ-потенціал на границі ковзання за формулою

$$\zeta = \frac{\eta \cdot \varkappa \cdot v_{об}}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot I}, \qquad (4.2)$$

де η – в'язкість розчину електроліту, Па·с;

$v_{об}$ – об'ємна швидкість течії електроліту, м^3/с;

$\varkappa$ – питома електропровідність розчину електроліту, См/м;
I – сила струму, А;
ε – діелектрична проникність;
ε_0 – електрична постійна, Ф/м;

4.1.3 Визначення ζ-потенціалу методом електрофорезу

Рух часток дисперсної фази щодо дисперсійного середовища під дією зовнішнього електричного поля називається електрофорезом. Електрофорез виявляється експериментально за зсувом границі розділу колоїдний розчин-дисперсійне середовище до одного з електродів. Зовнішнє електричне поле діє на заряди подвійного електричного шару: іони дифузного шару, рухливі і слабкозв'язані з поверхнею, зміщаються відносно колоїдної частки в напрямку протилежно зарядженого електрода. Колоїдна частинка, що має за рахунок потенціалутворюючих іонів надлишковий заряд іншого знака, переміщається відповідно у бік, протилежний дифузним іонам. Вимірявши лінійну швидкість руху частинок (лінійну швидкість переміщення границі розділу колоїдний розчин-дисперсійне середовище), можна обчислити електрокінетичний потенціал за формулою

$$\zeta = \frac{4\pi \cdot \eta \cdot v_л \cdot L}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot U}, \qquad (4.3)$$

де $v_л$ – лінійна швидкість переміщення границі розділу, м/с;
U – різниця потенціалів на електродах, В;
L – відстань між електродами, м;
ε – діелектрична проникність середовища;
ε_0 – електрична постійна, Ф/м.

Прилад для вивчення електрофорезу являє собою U-подібну трубку, обидва коліна якої градуйовані; до неї припаяна вузька скляна трубочка з лійкою і краном (рисунок 4.4). В обох колінах U-подібної трубки розміщені електроди, підключені до джерела постійного струму.

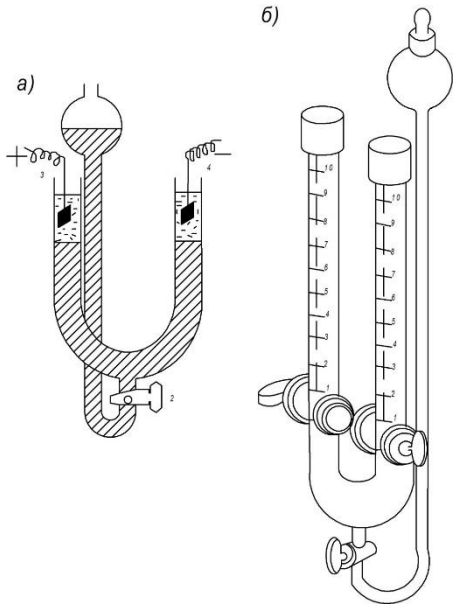


Рисунок 4.4 – Схема (*а*) та прилад (*б*) для вимірювання ζ-потенціалу методом електрофорезу

4.2 Прилади та реактиви

Установка для вимірювання потенціалу протікання; установка для вивчення електроосмосу; установка для вивчення електрофорезу; розчин KCl; досліджувані матеріали.

4.3 Виконання роботи

4.3.1 Прилад для вимірювання потенціалу протікання (рисунок 4.5) складається з балона *1*, вимірювальної чарунки *3*, хлорсрібних електродів *2* і *4*, манометра *6*, потенціометричного приладу *8*. Порошкова діафрагма із зразка матеріалу, попередньо просочена розчином електроліту шляхом витримування в ньому протягом доби, формується пошаровим ущільненням у вимірювальній чарунці.

Спочатку вимірюють різницю потенціалів E_0 між електродами без тиску, тобто потенціал асиметрії. Різниця потенціалів E_1 заміряється при визначеному тиску P впродовж 10-15 хв через рівні проміжки часу до встановлення постійного потенціалу. Серію вимірювань проводять при різних величинах тиску, після чого будують графік E-P і обчислюють ζ-потенціал за формулою (4.1).

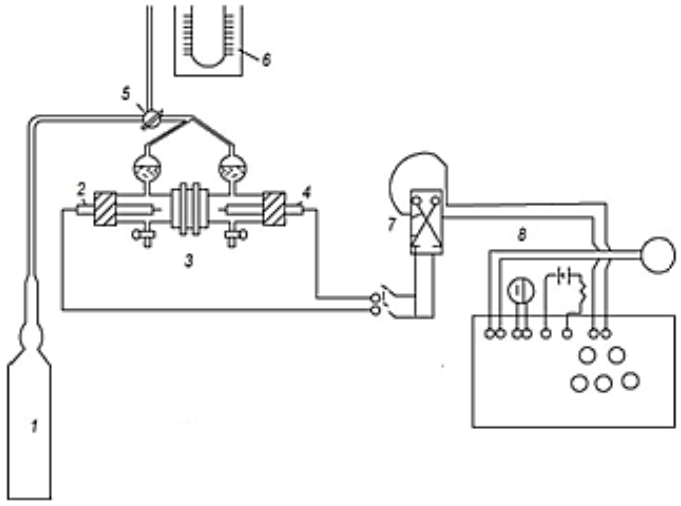


Рисунок 4.5 – Схема приладу для вимірювання потенціалу протікання

4.3.2. При вивченні електроосмосу вологим відфільтрованим матеріалом (наприклад піском) заповнюють нижню частину U-подібної трубки приладу. Верхню частину трубки заповнюють дисперсійним середовищем (розчином KCl) до електродів, закріплених у гумових пробках, якими щільно закривають коліна трубки. Електроди вмикають через міліамперметр у мережу постійного струму. Вимірювання починають через 5 хв після замикання електричного кола для встановлення рівномірного руху рідини через діафрагму. Спостерігаючи за напрямком переміщення рідини в капілярі, визначають знак електрокінетичного потенціалу. За допомогою секундоміра визначають час τ, с, проходження меніском рідини відстані h, м, і обчислюють об'ємну швидкість течії розчину за формулою

$$v_{\text{об}} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot h}{\tau}, \qquad (4.4)$$

де r – радіус коліна U-подібної трубки, м.

Отримане значення підставляють у формулу (4.2) і визначають величину ζ-потенціалу.

4.3.3 При вивченні електрофорезу в лійку приладу *1* (рисунок 4.4) при відкритому крані *2* наливають невелику кількість золю до крана, щоб витиснути повітря з нижньої частини

вузької трубки й крана і заповнити їх золем. Закривають кран, доливають у вузьку трубку і лійку золь, а у U-подібну трубку наливають близько 15 см^3 розчину електроліту. В обох колінах U-подібної трубки розміщують електроди *3* і *4*. Потім обережно відкривають кран, щоб золь повільно перетікав у U-подібну трубку. Коли електроди будуть міститься у воді, кран закривають. Підключають електроди до джерела постійного струму і, спостерігаючи за переміщенням границі золь-розчин, визначають знак заряду колоїдних частинок. Вимірявши час τ, с, проходження границею відстані h, м, обчислюють лінійну швидкість руху частинок за формулою

$$v_{\text{л}} = \frac{h}{\tau}. \qquad (4.5)$$

Отримане значення підставляють у формулу (4.3) і визначають величину ζ-потенціалу.

4.4 Зміст звіту

1 Тема та мета практичного заняття.
2 Виклад загальних відомостей.
3 Результати вимірювань та розрахунків ζ-потенціалу.
4 Висновки.

Контрольні запитання

1 Що називається електрокінетичними явищами? Наведіть приклади їх практичного використання.
2 Що називається потенціалом протікання?
3 Що називається потенціалом седиментації?
4 Що називається електроосмосом?
5 Що називається електрофорезом?
6 Що таке ζ-потенціал? Від чого залежить його величина і знак?
7 Наведіть схему будови подвійного електричного шару.
8 У чому полягає спосіб визначення величини і знака ζ-потенціалу методами електроосмосу, електрофорезу, потенціалу протікання і потенціалу седиментації?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5
Визначення структурно-механічних характеристик структурованих систем

Мета: вивчення процесів структуроутворення дисперсних систем.

Завдання: побудувати залежність деформації зсуву від часу $\varepsilon(\tau)$; розрахувати структурно-механічні характеристики структурованої системи.

5.1 Загальні відомості

Усі дисперсні системи можна поділити на дві групи: 1) безструктурні; 2) структуровані. Частинки дисперсної фази безструктурної системи не зв'язані між собою, здатні переміщуватися незалежно одна від одної. Частинки дисперсної фази структурованих систем зв'язані міжмолекулярними та електростатичними силами в одну загальну структуру, яка розповсюджується на увесь об'єм, який займає структура. Структурованим системам властиві в'язкість, пружність, пластичність, міцність, які і визначають здатність системи чинити опір деформаціям і руйнуванню під дією зовнішніх сил. Отже, визначивши перелічені характеристики, можна оцінити можливість застосування таких систем як будівельних конструкційних матеріалів. Механічні властивості тіл безпосередньо зв'язані з їх структурою, ось чому ці характеристики називають структурно-механічними.

Для визначення ступеня структурованості системи необхідно розрахувати такі структурно-механічні характеристики: модуль швидкої пружної деформації E_1, модуль повільної пластичної деформації E_2, границю міцності σ, границю пружності $\sigma_{пр}$, пластичну в'язкість η. Залежно від числових значень цих величин системи поділяються:

1) на безструктурні (вільнодисперсні) $E_1 < 10$ Па, $\eta < 10^2$ Па·с;

2) структуровані (зв'язнодисперсні) $E_1 = 10 \div 10^4$ Па, $\eta = 10^2 \div 10^6$ Па·с;

3) тверді структури $E_1 > 10^4$ Па, $\eta > 10^6$ Па·с.

Використовуючи ці величини, можна практично оцінити, чи завершилися процеси структуроутворення в дисперсних системах, або визначити терміни тужавіння пінобетону, повільнотверднуючих цементів та ін. Дослідження структурно-механічних властивостей виконується шляхом аналізу графічних кривих залежності деформації ε від часу τ під постійним навантаженням (рисунок 5.1).

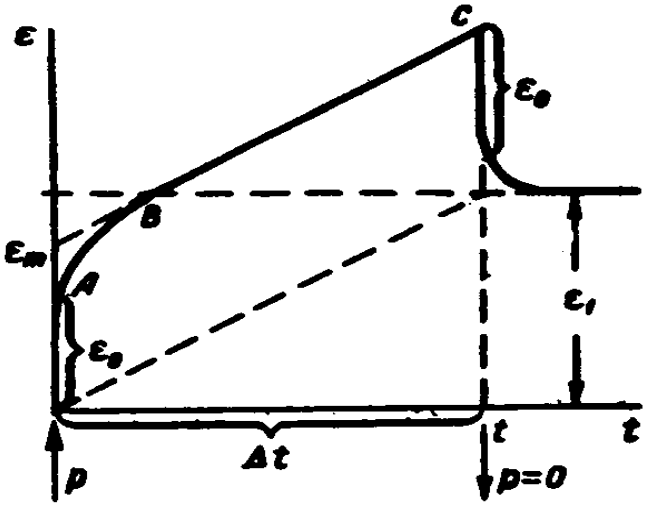


Рисунок 5.1 – Крива залежності деформації від часу для пружно-пластичного тіла

У момент прикладення навантаження Р (τ=0) виникає пружна деформація ε_0, яка повністю зникає після зняття навантаження із швидкістю звука у цьому середовищі. Ця деформація характеризується величиною модуля пружності E_1

$$E_1 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}, \qquad (5.1)$$

де σ – напруження, МПа, тобто навантаження Р, яке припадає на одиницю площі поверхні.

Якщо постійне навантаження зберігається протягом декількох хвилин, то в системі відбувається поступове нарощування пластичної деформації ε_m (ділянка АВ, рисунок 5.1). Вона характеризується модулем пластичної деформації E_2

$$E_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_m - \varepsilon_0}. \qquad (5.2)$$

Подальша прямолінійна ділянка ВС обумовлена постійною величиною пластичної деформації (течії). За кутом нахилу цієї ділянки можна розрахувати важливу характеристику пластичної течії – найменшу пластичну в'язкість η системи із зруйнованою структурою. При цьому необхідно враховувати, що частина напруження $\sigma_{пр}$ (границя пружності) витрачається на пружну деформацію, а отже, напруження, що викликає пластичну течію, дорівнює $(\sigma - \sigma_{пр})$

$$\eta = \frac{(\sigma - \sigma_{пр}) \cdot \Delta\tau}{\varepsilon - \varepsilon_m}, \qquad (5.3)$$

де ε – величина загальної деформації.

Існує багато методів структурно-механічного аналізу, що обумовлено великою різноманітністю реальних рідин і дисперсних систем. Серед них методи капілярної і ротаційної віскозиметрії, конічного пластометра і плоскопаралельного зміщення. У цій роботі застосовується метод Вейлера-Ребіндера (плоскопаралельного зміщення пластинки) для нагляду за сумарним ефектом стану системи.

Однак існуючі методи визначення в'язкості не підходять для епоксидних композицій, тому що протягом часу їх в'язкість змінюється. Отже, повну картину змінення в'язкості за наявними методиками одержати не можливо. Для таких систем були збудовані криві в'язкості за допомогою пенетрометра з використанням формули

$$\eta = \frac{P \cdot h}{S \cdot V}, \qquad (5.4)$$

де P – вага голки пенетрометра, кг;

h – глибина занурювання голки пенетрометра у систему, м;

S – площа бокової поверхні голки, $м^2$;

V – швидкість занурювання, м/с.

Площу бокової поверхні голки пенетрометра можна визначити за формулою

$$S = \pi \cdot d \cdot h, \tag{5.5}$$

де d – діаметр голки пенетрометра, м.

Швидкість занурювання голки пенетрометра у систему визначається за формулою

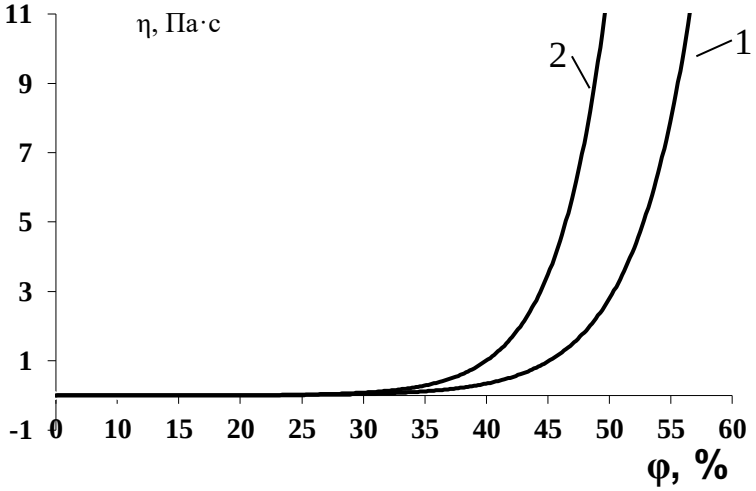
$$V = \frac{h}{t}, \tag{5.6}$$

де t – час занурювання голки пенетрометра у систему, с.

З урахуванням формул (5.5), (5.6) формулу (5.4) можна записати у вигляді

$$\eta = \frac{P \cdot t}{\pi \cdot d \cdot h}. \tag{5.7}$$

За допомогою формули (5.7) було побудовано криві залежності в'язкості η структурованих систем від вмісту твердої фази φ (рисунок 5.2).



1 – після 5 діб структурування; *2* – після 7 діб структурування

Рисунок 5.2 – Криві залежності в'язкості від вмісту твердої фази

За даними графіків η(φ) (рисунок 5.2) спостерігається різкий перелом при φ=0,4-0,5. Це може бути зумовлено додатковим структуруючим ефектом, який пов'язаний із злипанням поверхневих граничних шарів суміші смол. Можна зробити висновок, що поверхні цементних часток та часток молотого піску структурують смоли навколо себе. Це підтверджується даними електронномікроскопічних досліджень структури епоксидної смоли з наповнювачем.

5.2 Прилади та матеріали

Прилад Вейлера-Ребіндера; важки; кювета; пенетрометр; зразок системи, яка досліджується.

5.3 Виконання роботи

5.3.1 Визначення структурно-механічних характеристик неорганічних систем

Дослідження пружно-пластичних властивостей структурованих систем проводиться методом тангенційного зміщення пластинки. До кювети *1* (рисунок 5.3) із суспензією, яка досліджується, занурюється рифлена пластинка *2* (для зручності розрахунків сумарна площа обох боків пластинки дорівнює 10 см^2) і витримується в ексикаторі протягом 24 год для повного завершення процесів структуроутворення. Потім пластинку разом із кюветою закріплюють на коромислі *3* терезів приладу Вейлера-Ребіндера. З іншого боку терезів *4* підвішують вагу Р, під дією якої відбувається зсув пластинки.

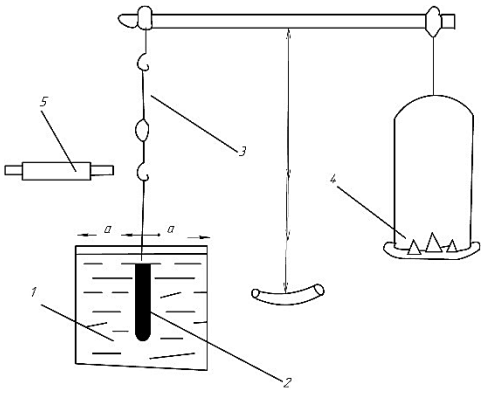


Рисунок 5.3 – Схема приладу Ребіндера-Вейлера

Напруження зсуву розраховують за формулою

$$\sigma = \frac{P \cdot g}{S}, \qquad (5.8)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с^2;

S – площа пластинки, м^2.

Деформація зсуву фіксується відліковим мікроскопом *5* (рисунок 5.3) протягом 15 хв з інтервалом 1 хв. Потім зразок розвантажують і записують дані з тим самим порядком відліку. Отримані дані заносять у таблицю 5.1.

Таблиця 5.1

Час τ, хв	Переміщення пластинки		Відносна деформація ε
	у поділках шкали мікроскопа	мкм	
1 2 3 ... 15			

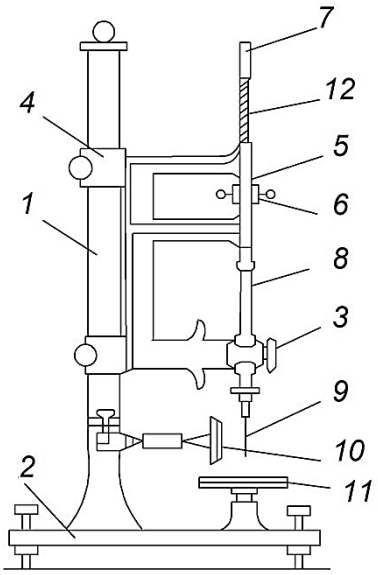
За результатами досліду будують залежність ε(τ), визначають структурно-механічні характеристики за формулами (5.1)-(5.3), (5.8) і роблять висновки про пружно-пластично-в’язкі властивості дисперсних систем, а також про їх міцність та завершеність процесів структуроутворення.

5.3.2 Визначення структурно-механічних характеристик полімеркомпозиційних систем

Дослідження композицій, які містять епоксидні смоли та неорганічний наповнювач, проводиться за нижченаведеною методикою. Виготовляється дві серії суміші: перша серія – на наповнювачі із молотого піску, просіяного через сито з отворами 0,14; друга серія – на наповнювачі із цементу.

Голку пенетрометра *9* (рисунок 5.4) встановлюють на зразок, відпускають затискачі *3* та через 30 с знімають показники з циферблата пенетрометра *5*. Дослід проводиться не менше 10

разів. Потім розраховують значення в’язкості за формулами (5.4)-(5.7). Цей метод дає змогу дослідити кінетику твердіння з моменту виготовлення до моменту повного затвердіння суміші, а також отримати значення в’язкості в будь-який проміжок часу твердіння композиції [2, 4].



1 – штатив; 2 – підставка; 3 – винт регулювання; 4 – напрямна втулка; 5 – гальмівний пристрій; 6 – вантаж-шайба; 7 – рейка кремальєри; 8 – плунжер; 9 – голка; 10 – дзеркало; 11 – опорний столик; 12 – шкала

Рисунок 5.4 – Пенетрометр

5.4 Зміст звіту

1 Тема і мета заняття.
2 Викладення загальних відомостей.
3 Результати випробувань (таблиця 5.1).
4 Графіки залежності $\varepsilon(\tau)$ або $\eta(\varphi)$.
5 Розрахунки структурно-механічних характеристик.
6 Висновки.

Контрольні запитання

1 У чому різниця між безструктурними і структурованими системами?

2 Перелічіть структурно-механічні характеристики і вкажіть їх значення для практики.

3 Як визначаються структурно-механічні характеристики за допомогою приладу Вейлера-Ребіндера?

4 Як визначається відносна деформація у тангенційному зсуві?

5 Що називається пружною деформацією? Чим вона характеризується?

6 Що називається пластичною деформацією? Чим вона характеризується?

7 Як визначається найменша пластична в'язкість системи із зруйнованою структурою?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6
Визначення морозостійкості бетону та захисних покриттів

Мета: ознайомлення з дією попеременного заморожування та відтавання на структуру бетону, його міцність та міцність захисних покриттів.

Завдання: освоїти методику визначення марки бетону за морозостійкістю; оцінити морозостійкість захисних покриттів на поверхні бетону.

6.1 Загальні відомості

Морозостійкість бетону – це здатність зберігати фізико-механічні властивості при багаторазовому попеременному заморожуванні та відтаванні. Морозостійкість бетону характеризують відповідною маркою за морозостійкістю F. Марка бетону за морозостійкістю F – це установлена нормами кількість циклів заморожування та відтавання зразків бетону, при яких зберігаються початкові фізико-механічні властивості в нормованих межах. ДСТУ Б В.2.7-47 встановлює такі методи контролю морозостійкості бетону:

базові – перший (для всіх видів бетонів, крім бетонів дорожніх і аеродромних покриттів) і другий (для бетонів дорожніх і аеродромних покриттів);

прискорені при багаторазовому заморожуванні та відтаванні – другий і третій;

прискорені при одноразовому заморожуванні – четвертий (дилатометричний) і п'ятий (структурно-механічний).

Співвідношення між кількістю циклів випробувань за базовим та прискореним методами та марками бетону за морозостійкістю наведено у таблиці 6.1.

6.2 Прилади та матеріали

Морозильна камера (згідно з ДСТУ Б В.2.7-47); ванна для насичування та відтавання зразків, яка обладнана пристроєм для підтримування температури води у межах 18±2°С; вода для насичування та відтавання зразків; бетонні зразки; бетонні зразки з нанесеним гідроізолюючим покриттям.

6.3 Виконання роботи

6.3.1 Визначення марки бетону за морозостійкістю [6]

Відбір бетонної суміші, виготовлення і зберігання зразків бетону слід проводити згідно з ДСТУ Б В.2.7-114-2002 і ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Кількість зразків бетону і їх розміри залежно від методу контролю, середовища насичування повинні призначатися згідно з ДСТУ Б В.2.7-47.

Зразки, які підлягають випробуванням на морозостійкість, приймають за основні. Зразки, які призначені для визначення міцності на стиск перед випробуванням основних зразків, приймають за контрольні. Основні і контрольні зразки бетону перед випробуванням на морозостійкість мають бути насичені водою (розчином солі) з температурою 18±2°С. Насичування зразків слід проводити шляхом занурювання їх у рідину на 1/3 їх висоти і подальшим витримуванням протягом 24 год, потім слід рівень рідини підвищити до 2/3 їх висоти і витримати у такому стані ще 24 год, після чого зразки слід занурити повністю і витримувати в такому стані ще 48 год. При цьому зразки мають бути з усіх боків оточені рідиною шаром не менше 20 мм. Через 2-4 год після виймання із ванни контрольні зразки мають бути випробувані на стиск згідно з ДСТУ Б В.2.7-114-2002.

Таблиця 6.1 – Співвідношення між кількістю циклів випробувань і марками бетону за морозостійкістю

Метод випробування	Вид бетону	Кількість циклів заморожування-відтавання для бетону марок за морозостійкістю*												
		F25	F35	F50	F75	F100	F150	F200	F300	F400	F500	F600	F800	F1000
Перший (базовий)	Всі види бетонів, крім бетонів дорожніх і аеродромних покриттів	15/25	25/35	35/50	50/75	75/100	100/150	150/200	200/300	300/400	400/500	500/600	600/800	800/1000
Другий (прискорений)	Всі види бетонів, крім бетонів дорожніх і аеродромних покриттів та легких бетонів з середньою густиною менше D1500	–	–	–/8	–/13	–/20	20/30	30/45	45/75	75/100	100/150	150/200	200/300	300/400
Третій (прискорений)	” – –	_	_	_	2	3	4	5	8	12	15	19	27	35
Другий (базовий)	Бетони дорожніх і аэродромних покриттів	_	_	35/50	50/75	75/100	100/150	150/200	200/300	300/400	400/500	500/600	600/800	800/1000
Третій (прискорений)	” – –	_	_	_	_	5	10	20	37	55	80	105	155	205
* Над рискою зазначено число циклів, після якої проводиться проміжне випробування, під рискою – кількість циклів, що відповідає марці бетону за морозостійкістю														

Основні зразки завантажують у морозильну камеру за правилами ДСТУ Б В.2.7-47-96. При визначенні марки за морозостійкістю першим базовим методом зразки розмірами 10х10х10 см витримують при температурі мінус 18±2°С протягом 2,5 год, після чого проводять відтавання у воді з температурою +18±2°С протягом 2,5 год. Через 2-4 год після проведення відповідної кількості циклів попереміннього заморожування та відтавання основні зразки мають бути випробувані на стиск і визначена їх міцність згідно з ДСТУ Б В.2.7-114-2002.

Марку бетону за морозостійкістю приймають за таку, що відповідає потрібній, якщо середнє значення міцності на стиск основних зразків після установленої в таблиці 3 ДСТУ Б В.2.7-47 для цієї марки кількості циклів попереміннього заморожування-відтавання зменшилось не більш ніж на 5 % порівняно з середньою міцністю на стиск контрольних зразків.

Другий базовий метод контролю морозостійкості бетону відрізняється від першого тим, що насичування і відтавання основних та контрольних зразків проводиться у 5 %-му водяному розчині хлористого натрію, а температура і тривалість заморожування-відтавання залишаються такими, як і в першому методі.

Третій прискорений метод контролю морозостійкості бетону відрізняється від другого тим, що максимальна температура заморожування становить мінус 50-55°С, а загальна тривалість витримування збільшується до 6,5 год.

У другому і третьому методах марку бетону за морозостійкістю приймають за таку, що відповідає заданій, якщо середнє значення міцності на стиск серії основних зразків бетону дорівнює або більше середнього значення міцності на стиск серії контрольних зразків бетону, або зменшилось, але не більше ніж на 5 %, а для серії зразків бетонів дорожніх та аеродромних покриттів, крім того, втрата ваги не перевищує 3 %.

6.3.2 Визначення морозостійкості захисних покриттів

Бетонні зразки розмірами 10×10×10 см витримуються у ванні з водою впродовж 24 год. Потім наноситься гідроізолююче покриття на зразки-куби так, щоб на кожному кубі була покрита різна кількість граней (наприклад, 5 кубів були покриті з 6 боків,

5 кубів – з 5 боків, 5 кубів – з одного боку). Після 9 і 15 циклів заморожування-відтавання наклеюються епоксидною смолою штампи (рисунок 6.1) на покриття за такою методикою: на куб розмірами 10×10×10 см приклеюється 9 штампів на кожну грань. Після приклеювання штампів через 15-20 хв прибирають залишок клею, щоб виключити можливість збільшення площі, яка працює на відрив, і збільшення результатів випробувань.

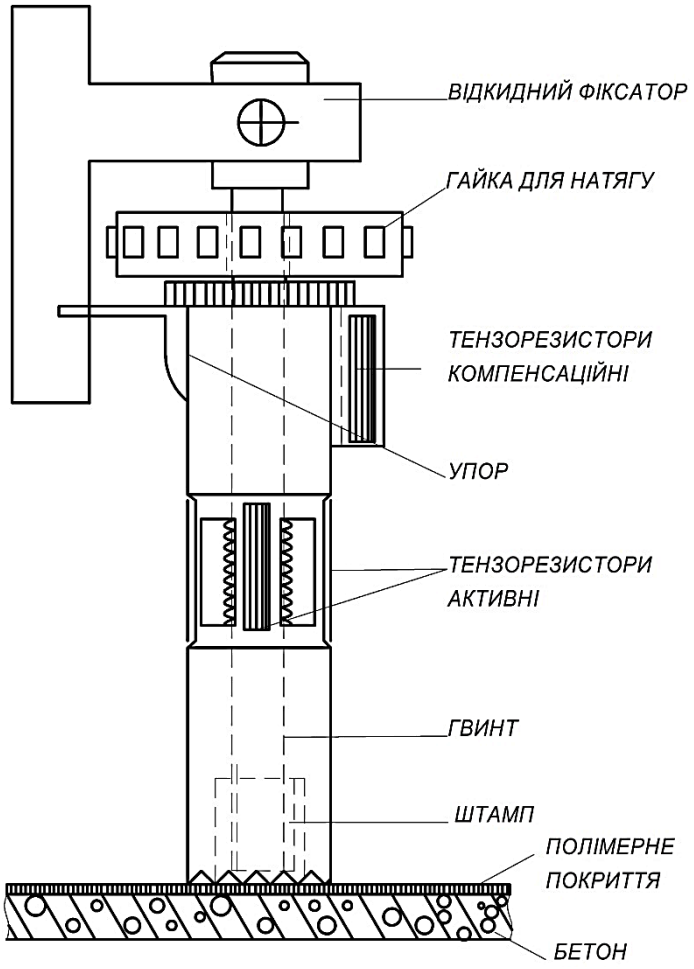


Рисунок 6.1 – Схема тензодинамометричного перетворювача для визначення міцності зчеплення (адгезії)

Відстань між штампами вибирається таким чином, щоб виключити можливість впливу покриття під штампом, який був випробуваний, на покриття під ще не випробуваними штампами. Через 48 год виконується випробування з визначенням міцності покриття на відрив (адгезійна міцність). Після 45 циклів заморожування-відтавання до покриття знову приклеюються

штампи і виконується через 48 год випробування з визначенням міцності покриття на відрив.

6.4 Зміст звіту

1 Тема і мета заняття.

2 Викладення загальних відомостей.

3 Результати випробувань бетонних зразків.

4 Результати випробувань адгезійної міцності захисних покриттів.

5 Рисунки вигляду бетонних зразків після відповідної кількості циклів заморожування-відтавання.

6 Рисунки вигляду зруйнування покриттів (адгезійне руйнування, когезійне руйнування бетону, когезійне руйнування покриття).

7 Висновки.

Контрольні запитання

1 Яку властивість бетону характеризує його морозостійкість?

2 Що таке марка бетону за морозостійкістю?

3 Опишіть три методи визначення марки бетону за морозостійкістю.

4 Чому під дією поперемінного заморожування-відтавання міцність бетону знижується?

5 Чому сольове середовище прискорює процес зниження міцності бетону?

6 Опишіть методику визначення морозостійкості бетону, який захищений гідроізолюючим покриттям.

7 Дайте визначення адгезійної міцності.

8 Дайте визначення когезійної міцності.

9 Про що свідчить когезійне руйнування бетону після випробувань міцності захисного покриття на відрив?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7
Визначення фільтраційних властивостей бетону

Мета: визначення залежності між структурою бетону і його фільтраційними властивостями.

Завдання: ознайомитися з двома способами визначення фільтраційних властивостей бетону; провести їх порівняльний аналіз; побудувати залежність від часу об'єму увібраної води для бетонів з різним В/Ц.

7.1 Загальні відомості

Довговічність бетонних і залізобетонних споруд, які експлуатуються в оводнених умовах (греблі, тунелі, труби, стояни і проміжні опори мостів, дамби та ін.), залежить від водопроникності бетону і визначається його капілярно-пористою структурою.

7.1.1 Стандартний спосіб визначення фільтраційних властивостей бетону [7]

Для визначення марки за водонепроникністю застосовують обладнання, конструкція якого передбачає можливість подавання води під тиском до однієї з поверхонь зразків бетону, а також можливість нагляду за протилежною поверхнею. Зразки мають циліндричну форму діаметром 15 см і висотою, яка залежить від розмірів зерен щебеню. Тиск води підвищують ступенями по 0,2 МПа протягом від 1 до 5 хв і витримують на кожному ступені протягом часу, зазначеного в ДСТУ Б В.2.7-170. Випробування проводять доти, поки на протилежній від подавання води поверхні не з'являться ознаки просочування води у вигляді крапель або «мокрої плями». За марку бетону за водонепроникністю W приймають такий тиск води в атмосферах, при якому вода ще не просочується крізь зразок. Марку бетону за водонепроникністю приймають згідно з таблицею 7.1.

Таблиця 7.1

Водонепроникність серії зразків, МПа	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Марка бетону за водонепроникністю	W2	W4	W6	W8	W10	W12

Для визначення коефіцієнта фільтрації $К_Ф$ використовують такі ж зразки бетону, як і для визначення марки за водонепроникністю. Зразки прикріплюють до металевої обойми заливанням у зазор між зразком *1* (рисунок 7.1) і обоймою *3* спеціальних мастик *2*. Після перевірки герметичності з'єднання до торцевої поверхні зразків подають воду крізь патрубок *4*. Вода під тиском проникає у зразок і через деякий проміжок часу починається її фільтрація крізь бетон. Фільтрат (вода, яка пройшла крізь зразок) збирається з протилежного боку у лійку *5*. Тиск води підіймають ступенями 0,1 МПа і витримують на кожному ступені 1 год. При появі фільтрату підняття тиску зупиняють і вимірюють кількість фільтрату в лійці.

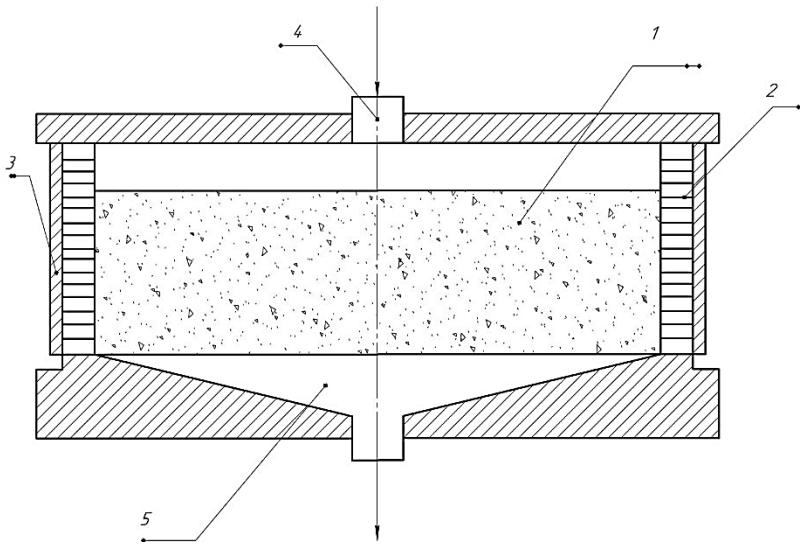


Рисунок 7.1 – Схема установки для визначення коефіцієнта фільтрації

Коефіцієнт фільтрації визначають за формулою

$$К_Ф = \eta \frac{Q \cdot \delta}{S \cdot \tau \cdot \Delta P}, \qquad (7.1)$$

де Q – кількість фільтрату, $м^3$;

δ – товщина зразка, м;

η – коефіцієнт, який ураховує зміну в'язкості води при зміні температури;

S – площа зразка, $м^2$;

τ – час випробування зразка, с;

ΔP – різниця тиску у патрубку і лійці обладнання, Па.

Водопроникність оцінюють величиною коефіцієнта фільтрації $К_Ф$ і маркою бетону за водонепроникністю W, між якими ДСТУ Б В.2.7-170:2008 встановлює співвідношення, які подані в таблиці 7.2.

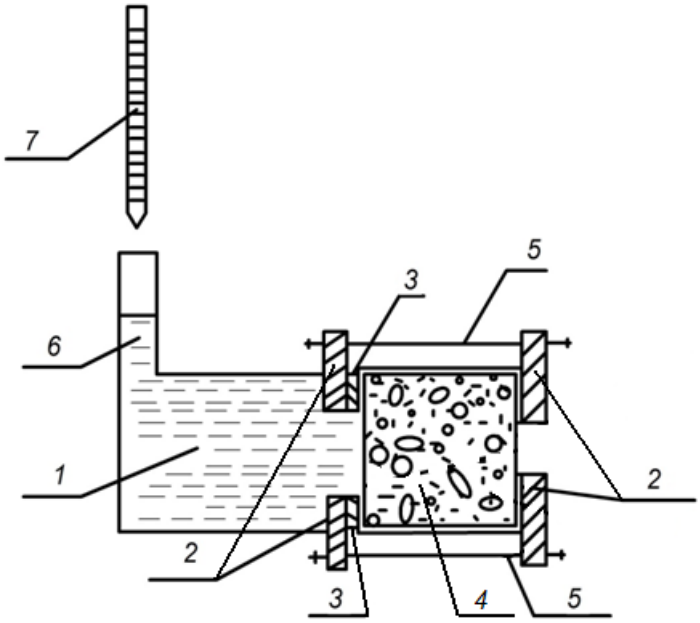
Таблиця 7.2

Марка бетону за водонепроникністю	Коефіцієнт фільтрації $К_Ф$, см/с
W2	Від 7×10^{-9} до 2×10^{-8} включно
W4	Понад 2×10^{-9} до 7×10^{-9} включно
W6	» 6×10^{-10} » 2×10^{-9}
W8	» 1×10^{-10} » 6×10^{-10}
W10	» 6×10^{-11} » 1×10^{-10}
W12	» 6×10^{-11} і менше

Однак практика будівництва й експлуатації багатьох підземних споруд із бетону (тунелі метрополітену, трубопроводи, резервуари тощо) свідчить, що бетон, який витримує при заводських випробуваннях значний тиск води, у реальних умовах протікає практично при відсутності тиску. Розрахунки свідчать, що реальний час проходження води крізь бетон зумовлений внутрішнім тиском води, а не зовнішнім, який використовується при стандартних випробуваннях для всіх марок бетону за водонепроникністю. Цей внутрішній тиск властивий капілярнопористим тілам із розвиненою внутрішньою поверхнею пор і капілярів. Для кількісної оцінки фільтраційних властивостей бетону на кафедрі «Будівельні матеріали, конструкції та споруди» УкрДУЗТ розроблено безнапірний метод, який дає змогу врахувати особливості бетону як капілярно-пористої системи [8].

7.1.2 Безнапірний спосіб визначення фільтраційних властивостей бетону

Для вивчення фільтраційних властивостей бетону безнапірним способом використовують пристрій, який складається з герметичної комірки *1*, до якої за допомогою фланців *2* через гумову прокладку *3* прикріплюється бетонний зразок *4* (рисунок 7.2). До комірки прикріплюється вимірювальна бюретка *7*. Комірку наповнюють водою до нульового рівня бюретки. У міру того, як вода просочується крізь зразок, рівень у бюретці знижується. Через певні проміжки часу визначають об'єм увібраної води і будують залежність кількості води V від часу фільтрації.



1 – герметична чарунка; *2* – фланци; *3* – гумові прокладки; *4* – бетоний зразок; *5* – болти; *6* – трубка; *7* – бюретка

Рисунок 7.2 – Безнапірний метод визначення фільтраційних властивостей бетону

Вода фільтрує крізь бетон та інші капілярно-пористі тіла під дією таких тисків (рисунок 7.3, *а*, *б*):

1) тиск капілярного підняття $P_{КП}$, який виникає за рахунок змочування стінок капілярів бетону водою і утворення увігнутого меніска:

$$P_{КП} = \frac{2 \cdot \sigma}{r}, \qquad (7.2)$$

де σ – поверхневий натяг, Дж/м^2;

r – радіус капіляра, м;

2) електрокапілярний тиск $P_{ЕК}$, який зумовлений наявністю заряду на поверхні стінок капіляра бетону:

$$P_{ЕК} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \psi^2}{r^2}, \qquad (7.3)$$

де ψ – поверхневий потенціал стінок капіляра бетону, В;

ε – діелектрична проникність води у капілярі;

ε_0 – діелектрична стала ($8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м);

r – радіус капіляра, м;

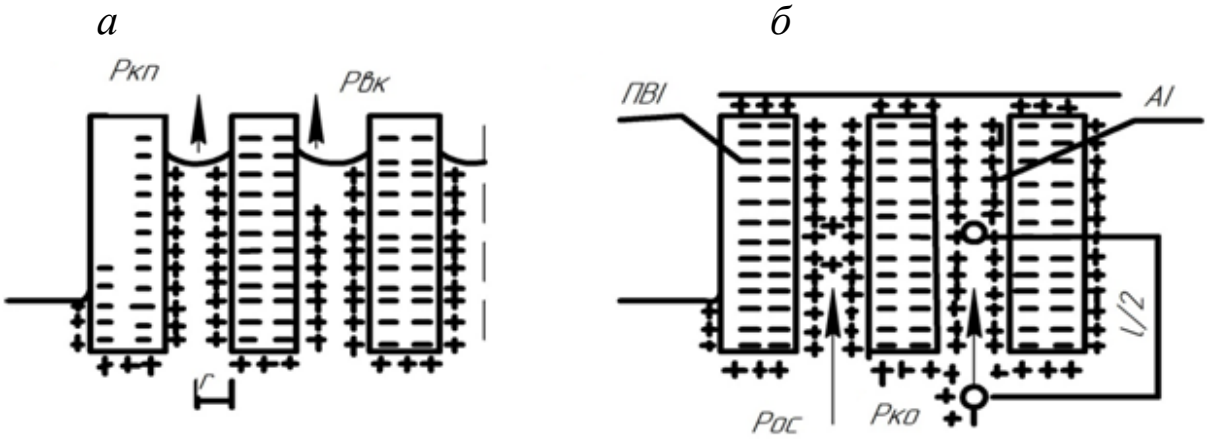
3) осмотичний тиск $P_{ОС}$, викликаний різницею концентрацій електроліту всередині капіляра і з зовнішнього боку бетону:

$$P_{ОС} = R \cdot T \cdot \Delta C , \qquad (7.4)$$

де R – універсальна газова стала (8,31 Дж/(моль·град));

T – абсолютна температура, град;

ΔC – різниця концентрацій електроліту всередині капіляра і з зовнішнього боку бетону, моль.



а – при водонасичуванні; *б* – при фільтрації води

Рисунок 7.3 – Внутрішній тиск води у капілярі бетону

Наприклад, для капіляра r = 10 Å ($10 \cdot 10^{-10}$ м) величини тисків будуть такими: $P_{КП}$ = 1400 атм, $P_{ЕК}$ = 355000 атм, $P_{ОС}$ = 60 атм. Як бачимо, внутрішній тиск дійсно набагато перевищує зовнішній, який використовується для стандартних випробувань бетону і максимальне значення якого не перевищує 12 атм. Тільки для макрокапілярів (r > 1000 Å) зовнішній тиск починає відігравати визначальну роль у фільтрації води крізь бетон.

7.2 Прилади та матеріали

Пристрій для визначення фільтраційних властивостей безнапірним способом; зразки бетонів із різним В/Ц або із захисним гідроізолюючим покриттям.

7.3 Виконання роботи

Закріпити зразки бетону з різним В/Ц у пристрої, долити води до нульового рівня у бюретці. Через визначені проміжки часу визначити кількість увібраної у зразок води. Результати вимірювань занести у таблицю 7.3.

Таблиця 7.3

Час τ, хв	Об'єм води, увібраної зразком V, см^3			
	$(В/Ц)_1$	$(В/Ц)_2$	...	зразок із захисним покриттям

За результатами досліду побудувати залежність об'єму увібраної зразком води V від часу τ (рисунок 7.4) і зробити висновки про структуру бетону або про ефективність гідроізолюючого захисного покриття.

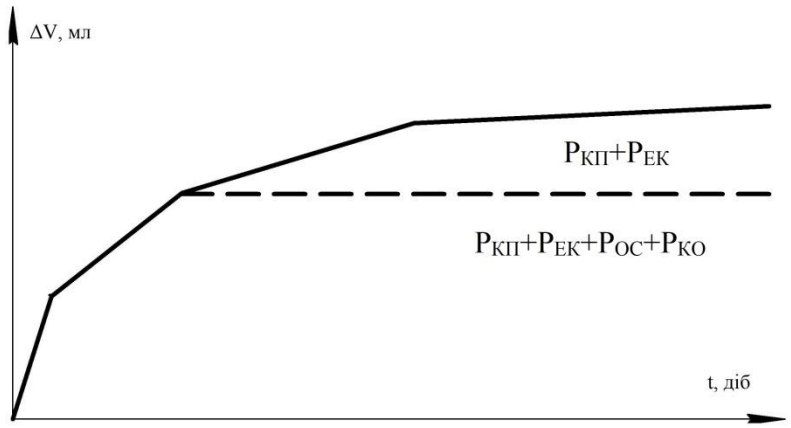


Рисунок 7.4 – Залежність об’єму увібраної води від часу фільтрації

7.4 Зміст звіту

1 Тема і мета заняття.
2 Викладення загальних відомостей.
3 Результати випробувань бетонних зразків (таблиця 7.3).
4 Графік залежності $V(\tau)$.
5 Висновки.

Контрольні запитання

1 Що називається маркою бетону за водонепроникністю?
2 Як визначається марка бетону за водонепроникністю стандартним способом?
3 Як визначається коефіцієнт фільтрації стандартним способом?
4 Опишіть сутність безнапірного методу визначення фільтраційних властивостей бетону.
5 Перелічіть складові внутрішнього тиску води при її фільтрації крізь бетон.
6 Чим зумовлена наявність тиску капілярного підняття у бетоні? Від чого він залежить?
7 Чим зумовлена наявність електрокапілярного тиску у бетоні? Від чого він залежить?
8 Чим зумовлена наявність осмотичного тиску у бетоні? Від чого він залежить?

9 Як залежать фільтраційні властивості бетону від його структури?

10 Як можна оцінити ефективність різних гідроізолюючих покриттів за допомогою безнапірного способу?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Плугін А. М., Трикоз Л. В., Плугін А. А. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів і конструкцій: навч. посіб. Харків : ХарДАЗТ, 1999. Ч.1. 111 с.

2 Плугін А. М., Трикоз Л. В., Плугін А. А. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів і конструкцій: навч. посіб. Харків : ХарДАЗТ, 1999. Ч.2. 134 с.

3 Конструкційні та функціональні матеріали : навч. посіб. Ч. 1 : Основи фізики твердого тіла. Конструкційні матеріали. Київ : Техніка, 2003. 344 с.

4 Конструкційні та функціональні матеріали : навч. посіб. Ч. 2 : Функціональні матеріали. Фізичні аспекти кінетики виникнення руйнувань. Технічна діагностика матеріалів і виробів. Київ : Техніка, 2004. 367 с.

5 ДСТУ Б В.2.7-47-96. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги. Київ : Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1996. 15 с.

6 ДСТУ Б В.2.7-48-96. Бетони. Базовий (перший) метод визначення морозостійкості. Київ : Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1996. 8 с.

7 ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 38 с.

8 Патент 10183 А Україна, МКИ[5] G01N 15/08. Спосіб визначення водонепроникності бетону та виробів / А. Плугін, І. Прокопова, Д. Косінов (Україна); ХарДАЗТ (Україна). № 94042090; заявл. 15.04.94; опубл. 25.12.96, Бюл. № 4. 5 с.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять та лабораторних робіт
з дисципліни

*«ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА
БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ»*

Відповідальний за випуск Трикоз Л. В.

Редактор Еткало О. О.

Підписано до друку 19.06.20 р.

Формат паперу 60х84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,5. Тираж 5. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.